

明 細 書

三次元計測装置

5 技術分野

本発明は、対象物の立体表面形状を高精度且つ効率的に計測する三次元計測装置に関する。更に詳細には、複雑な立体表面形状を有する対象物や対象物が移動する場合であっても、簡便且つ高速にその対象物の外側及び／内側の立体表面形状を高精度で且つ

10 効率的に計測可能な三次元計測装置に関する。

背景技術

人体のような対象物の立体表面形状を測定する装置は、従来から様々な装置が提案されているが大型装置が多かった。そこで近年は装置の小型化の試みも為されており、その一つとして特開 2

15 0 0 1 - 2 6 4 0 3 5 号公報（以下、特許文献 1）には、特定の数の計測ヘッド（計測カメラと光源とからなる）を同一平面上に配置することにより、従来の計測装置をより小型化し、且つ高速な計測を可能とする三次元計測装置が開示されている。

20 しかしながら上記公開公報に開示されている発明を用いたとしても、例えば対象物が壺であるような場合、その外側の立体表面形状（輪郭）は計測することが出来るが、壺の内側の立体表面形状をも計測するとなると、計測ヘッドの配置が同一平面上に固定して配置されている為に計測することが出来ない。更には、計測

25 ヘッドの死角に相当する部分、例えば対象物が人体であり、その

脇下の計測を行う場合、脇下だけに計測ヘッドを配置しようとする
と、計測ヘッドの配置が不規則となり、且つ計測時間が余分に
必要となる問題点がある。

更に、これまでは計測対象となる対象物が通常は静止したもの
5 であつた為に、対象物が何らかの動きを呈する場合には、対象物
と計測ヘッドとの距離が変化する度に計測したデータを処理する
上で必要な各種のパラメータの設定を変更する必要がある、事実
上、移動する対象物を測定することは出来なかった。

10 発明の開示

本発明者は、計測カメラ及び光源を所定の空間内の任意の位置
に配置し、計測カメラと対象物の空間に於ける位置関係を把握す
ることによって、複雑な立体表面形状を有する対象物であっても、
簡便且つ高速にその対象物の立体表面形状を高精度で且つ効率的
15 に計測する三次元計測装置を発明した。

即ち、従来のように対象物の設置場所が限定されることなく、
空間内であれば対象物を任意の位置に載置し、更に光源や計測カ
メラを空間内の任意の位置に配置することによって、従来の固定
された光源や計測カメラでは撮像することが出来ない、又は困難
20 な場合であっても、対象物に対して任意の設置箇所から縞のパタ
ーンを投影し、それを計測カメラで撮像することで、従来と同様
に三角測量の原理から、対象物の立体表面形状を高精度で且つ効
率的に計測が可能となる。

対象物が移動する場合、その移動に併せて計測カメラや光源を
25 移動等させることによって、対象物が移動する場合であってもそ

の測定を可能とする三次元計測装置を、更に発明した。

請求の範囲 1 の発明は、対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置とその測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、前記三次元データ取得装置は、空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラとを有しており、前記三次元データ処理装置は、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を前記計測カメラに対して出し、前記計測カメラから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有する三次元計測装置である。

請求の範囲 2 の発明は、対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置とその測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、前記三次元データ取得装置は、空間の任意の位置に複数設け

られており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記

5 計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有しており、前記三次元データ処理装置は、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を前記計測カメラ位置測定センサーに対して出し、前記計測カメラ

10 位置測定センサーから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制

15 御手段と、前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有する三次元計測装置である。

請求の範囲 3 の発明は、対象物の立体表面形状の測定を行う三

20 次元データ取得装置とその測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、前記三次元データ取得装置は、空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記空間の任意の位置に複

25 数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する

光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラとを有しており、前記三次元データ処理装置は、前記空間に

5 於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラに対して出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と

10 前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記

15 三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有する三次元計測装置である。

請求の範囲 4 の発明は、対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置とその測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、前記三次元データ取得装置は、空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する

25 光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象

物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有しており、前

5 記三次元データ処理装置は、前記空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ位置測定センサーに対して出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ位置測定センサーか

10 ら前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、前記計測

15 データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有する三次元計測装置である。

請求の範囲 1 2 の発明は、三次元データを作成する三次元データ

20 タ処理装置からの制御に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、前記三次元データ取得装置は、空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、

25 前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又

は全部を検出する計測カメラとを有する三次元データ取得装置である。

請求の範囲 1 3 の発明は、三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、前記三次元データ取得装置は、空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有する三次元データ取得装置である。

請求の範囲 1 4 の発明は、三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラとを有する三次元データ取得装置である。

請求の範囲 1 5 の発明は、三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、空間の任意の位置に少なく

- とも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有する三次元データ取得装置である。
- 10 請求の範囲 18 の発明は、対象物の立体表面形状の撮像を行う三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置であって、前記三次元データ処理装置は、前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源
- 15 によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられている計測カメラに対して、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパ
- 20 ラメータの取得指示を出し、前記計測カメラから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像さ
- 25 せ計測データを取得する制御手段と、前記計測データに基づいて

三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有する三次元データ処理装置である。

- 5 請求の範囲 19 の発明は、対象物の立体表面形状の撮像を行う三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置であって、前記三次元データ処理装置は、前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源
- 10 によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられている計測カメラの、前記三次元データ取得装置の前記空間に於ける位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ測定位置センサーに対して、前記空間に於ける前記計測カメラ
- 15 ラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を出し、前記計測カメラ測定位置センサーから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測
- 20 時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有
- 25 する三次元データ処理装置である。

請求の範囲 20 の発明は、対象物の立体表面形状の撮像を行う
三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データ
を作成する三次元データ処理装置であって、前記三次元データ処
理装置は、前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に少な
くとも一以上設けられており前記対象物の位置を検出する対象物
位置測定センサーと、前記三次元データ取得装置の前記空間の任
意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターン
を投影する光源によって投影された前記対象物の縞のパターンを
撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率
の一部又は全部を検出し、前記三次元データ取得装置の前記空間
の任意の位置に複数設けられている計測カメラとに対して、前記
空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメ
ラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータ
の取得指示を出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメ
ラから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投
影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合
せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラ
の順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の
縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、前記
計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出
手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を
行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記
憶手段とを有する三次元データ処理装置である。

請求の範囲 21 の発明は、対象物の立体表面形状の撮像を行う
三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データ

を作成する三次元データ処理装置であって、前記三次元データ処理装置は、前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられている計測カメラの、前記三次元データ取得装置の前記空間に於ける位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ測定位置センサーとに対して、前記空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ測定位置センサーから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、前記作成した三次元データを保存する記憶手段とを有する三次元データ処理装置である。

上記各発明においては、空間内に於いて計測カメラが任意の位置に配置されるので、複雑な形状を有する対象物であったとしても、随時計測カメラや光源の位置を変えて撮像させることが可能

となる。又請求の範囲 1、請求の範囲 3、請求の範囲 1 2、請求の範囲 1 4、請求の範囲 1 8、請求の範囲 2 0 の発明では、計測カメラに、空間に於ける計測カメラの位置等を把握させることによって、計測カメラを測定するセンサーを不要としている。特に

5 請求の範囲 1、請求の範囲 1 2、請求の範囲 1 8 の発明では、対象物の空間内に於ける設置位置をも固定することによって、対象物位置測定センサーそのものも不要としている。即ち対象物の位置は固定しているので、それによって光源の重なり合わない計測カメラ、光源の組合せは算出できるからである。一方請求の範囲

10 3、請求の範囲 1 4、請求の範囲 2 0 の発明では、対象物の位置を対象物位置測定センサーを用いて検出することによって、空間上の任意の位置に設置することが可能となる。これによって対象物の設置位置を気にする必要がなく、柔軟な撮像が行える。

又請求の範囲 2、請求の範囲 4、請求の範囲 1 3、請求の範囲

15 1 5、請求の範囲 1 9、請求の範囲 2 1 の発明では、計測カメラを測定する為の計測カメラ位置測定センサーを設けることによって、計測カメラに於いて自らの位置等のセンサーに関する処理を不要とし、計測カメラの負荷を軽減することが可能となると共に、計測カメラを任意の位置に設定したとしても自動的にセンサーを

20 用いてその位置を検出し、撮像することが可能となる。

請求の範囲 5 の発明は、前記計測カメラは、前記対象物位置測定センサーが検出した前記対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって移動し、前記縞のパターンを撮像する三次元計測装置である。

25 請求の範囲 6 の発明は、前記計測カメラは、前記対象物位置測

定センサーが検出した前記対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって、傾き、光軸の方向、倍率を変化させ前記縞のパターンを撮像する三次元計測装置である。

- 請求の範囲 16 の発明は、前記計測カメラは、前記対象物位置
5 測定センサーが検出した対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって移動し、前記縞のパターンを撮像する三次元データ取得装置である。

- 請求の範囲 17 の発明は、前記計測カメラは、前記対象物位置
測定センサーが検出した対象物の位置に基づいて、前記制御手段
10 からの制御によって、傾き、光軸の方向、倍率を変化させ前記縞のパターンを撮像する三次元データ取得である。

上記各発明によって、対象物が移動する場合であっても、計測カメラ自体を移動又は計測カメラの傾き等を変化させることによって、対象物を追尾して撮像することが可能となる。

- 15 請求の範囲 7 の発明は、前記三次元データ算出手段は、前記計測データに基づいて、点群データの変換を行い、前記変換後に回転・平行移動を行い、合成処理、及び平滑化処理を行うことによって三次元データを作成する三次元計測装置である。

- 請求の範囲 22 の発明は、前記三次元データ算出手段は、前記
20 計測データに基づいて、点群データの変換を行い、前記変換後に回転・平行移動を行い、合成処理、及び平滑化処理を行うことによって三次元データを作成する三次元データ取得装置である。

請求の範囲 7 及び請求の範囲 22 の発明によって、対象物の三次元データを作成することが可能となる。

- 25 請求の範囲 8 の発明は、前記制御手段が、前記光源と前記計測

カメラの組合せを抽出する場合には、前記光源によって投影される縞のパターンが前記対象物上で重なり合わない組合せを抽出する三次元計測装置である。

請求の範囲 9 の発明は、前記制御手段が、前記光源と前記計測
5 カメラの組合せを抽出する場合には、前記計測カメラに、特定の周波数の光は通さないレンズ又はフィルタ、又は特定の色を通さない色フィルタを具備しており、前記光源と前記計測カメラの組合せを適宜抽出する三次元計測装置である。

請求の範囲 10 の発明は、前記制御手段は、前記計測カメラが
10 特定の位相を抽出するレンズ又はフィルタを具備しており、前記特定の位相の抽出を行うレンズ又はフィルタの機能のオン・オフを時間的に分割して制御する三次元計測装置である。

請求の範囲 11 の発明は、前記制御手段は、前記計測データの
15 色情報に基づいて、前記計測カメラの制御を行う三次元計測装置である。

請求の範囲 23 の発明は、前記制御手段が、前記光源と前記計測カメラの組合せを抽出する場合には、前記光源によって投影される縞のパターンが前記対象物上で重なり合わない組合せを抽出する三次元データ処理装置である。

20 請求の範囲 24 の発明は、前記制御手段が、前記光源と前記計測カメラの組合せを抽出する場合には、前記計測カメラに、特定の周波数の光は通さないレンズ又はフィルタ、又は特定の色を通さない色フィルタを具備しており、前記光源と前記計測カメラの組合せを適宜抽出する三次元データ処理装置である。

25 請求の範囲 25 の発明は、前記制御手段は、前記計測カメラが

特定の位相を抽出するレンズ又はフィルタを具備しており、前記特定の位相の抽出を行うレンズ又はフィルタの機能のオン・オフを時間的に分割して制御する三次元データ処理装置である。

請求の範囲 2 6 の発明は、前記制御手段は、前記計測データの
5 色情報に基づいて、前記計測カメラの制御を行う三次元データ処理装置である。

請求の範囲 8 及び請求の範囲 2 3 の発明では、光源を対象物に投影し縞のパターンを作成する場合に、互いに重なり合わないような組合せとすることによって、精度が高い計測データを撮像する
10 ことが可能となる。一方請求の範囲 9 及び請求の範囲 2 4 の発明では、縞のパターンは対象物上で重なり合っても構わないが、それを計測カメラに、特定の周波数の光は通さないレンズ又はフィルタ、又は特定の色を通さない色フィルタを具備することで、その重なり合い（干渉）の影響をなくし、計測データとすることが可能となる。それによって、従来は固定化されていた光源や計
15 測カメラの位置を、縞のパターンの重複を気にせずに任意の箇所に配置することが出来る。又、請求の範囲 1 0 及び請求の範囲 2 5 の発明では、上述のように、周波数の他に、特定の位相を抽出するレンズ又はフィルタを設けることによって、その干渉の影響
20 をなくし、計測データとしても良い。この場合、制御手段では、位相の抽出を、時間的に制御しても良い。即ち、ある時間は特定の位相を抽出し、ある時間は位相を抽出しない、といったような制御である。更に、請求の範囲 1 1 及び請求の範囲 2 6 の発明では、本発明では計測データとしてテクスチャが取れることから、
25 このテクスチャの色情報に基づいて、計測カメラ自体の制御を行

わせるようにしても良い。この制御には、計測カメラのスイッチのオン・オフや倍率の制御等がある。

図面の簡単な説明

- 5 図 1 は、本発明のシステム構成の一例を示すシステム構成図である。図 2 は、本発明のプロセスの流れの一例を示すブロック図である。図 3 は、壺を対象物とする場合の概念図である。図 4 は、図 1 に示した場合の計測カメラの組合せと撮像順番を示した図である。図 5 は、複数の三次元データ取得装置を連続的に配置した
10 場合のシステム構成図である。図 6 は、光源と一对の数の計測カメラが設けられる場合の概念図である。図 7 は、光源としてレーザー光源を用いて対象物に縞のパターンを投影した場合の概念図である。図 8 は、計測カメラの一例とその投影パターンを側面から示した側面図である。図 9 は、光源としてハロゲン光源を用いて
15 対象物に縞のパターンを投影した場合の概念図である。図 10 は、縞のパターンから三次元データを作成する場合の概念図である。図 11 は、三次元データ取得装置で人体の撮像を行う場合のイメージ図である。図 12 は、三次元データのイメージ図である。図 13 は、動画像を作成する場合の概念図である。

20

符号の簡単な説明

- 1 : 三次元計測装置 2 : 三次元データ取得装置 3 : 三次元データ処理装置 4 : 制御手段 5 : データ処理手段 6 : 三次元データ算出手段 7 : 記憶手段 8 : 計測カメラ 9 : 計測カメラ位置測定センサー 10 : 対象物位置測定センサー 11 :
- 25

スリット 1 2 : ポリゴンミラー 1 3 : シリンドリカルレンズ
1 4 : 光源 1 5 : 縞のパターン

発明を実施する為の最良の形態

- 5 本発明のシステム構成の一例を図 1 のシステム構成図に示す。
三次元計測装置 1 は、対象物の測定を行う三次元データ取得装置
2 と、測定した結果のデータに基づいて対象物の三次元データ(三
次元座標やテクスチャデータ、ワイヤフレーム等)を作成する三
次元データ処理装置 3 とからなる。
- 10 三次元データ取得装置 2 は、対象物を撮像し三次元データを取
得する装置であって、空間の任意の位置に複数設けられている計
測カメラ 8 と光源 1 4 とを有している。又場合によっては空間の
任意の位置に少なくとも一以上設けられている対象物位置測定セ
ンサー 1 0、計測カメラ位置測定センサー 9 を設けても良い。
- 15 光源 1 4 は、空間の任意の位置に複数設けられており、対象物
に対して縞のパターン 1 5 を投影する。この場合の縞のパターン
1 5 は、縦であっても良いし、横であっても良いし、それ以外で
あっても良い。この光源 1 4 としては、ハロゲン光源やレーザ光
源のいずれであっても良い。光源 1 4 としてハロゲン光源を用い
20 た場合には、対象物に対して縞を投影する為に、光源 1 4 と対象
物との間にスリット 1 1 を配置することによって、対象物に縞の
パターン 1 5 を投影する。このスリット幅を調整することによっ
て、対象物に投影された縞のパターン 1 5 の幅を調整することが
可能となり、縞の幅を狭くするほど精度の高い三次元データを作
25 成することが可能となる。図 9 に光源 1 4 としてハロゲン光源を

用いて対象物に縞のパターン 1 5 を投影した場合の概念図を示す。

光源 1 4 としてレーザ光源を用いた場合には、時系列変調されたレーザ光源からの光はシリンドリカルレンズ 1 3 によりポリゴンミラー 1 2 上に集光され、ポリゴンミラー 1 2 の回転により走査され、対象物上に対象物の表面形状に対応する図 7 に示すような縞のパターン 1 5 を投影する。図 7 に光源 1 4 としてレーザ光源を用いて対象物に縞のパターン 1 5 を投影した場合の概念図を示す。

10 光源 1 4 としてハロゲン光源を用いた場合には、人間の顔等の部位に投影したとしても事故等の発生はない。一方光源 1 4 としてレーザ光源を用いた場合には、その直進性から、対象物のどの範囲に縞のパターン 1 5 を投影するかの詳細な調整が可能となる。又その投影範囲の調整が容易である為、縞のパターンが重なり合わないような光源 1 4 と計測カメラ 8 との同時使用も容易となる。これによってより短時間で撮像することが出来る。

複数の光源 1 4 と計測カメラ 8 とを同時又はほぼ同時に使用することによって、対象物上で縞のパターン 1 5 が重なることで、光の干渉が発生する場合には、時間的分割、空間的分割、或いは
20 それらの組合せを行うレンズ又はフィルタを計測カメラ 8 に各々具備することによって、対応が可能となる。ここで時間的分割とは、ある周波数の光は通さないレンズ又はフィルタや、特定の位相の抽出を行うレンズ又はフィルタを用いることで、干渉を防ぐ方法であり、光源 1 4 から発する光の周波数を各々変更すること
25 で可能となる。一方空間的分割とは、計測カメラ 8 に色フィルタ

- を用いることで、相対する光源 1 4 の干渉を防ぐ方法であり、光源 1 4 から発する光の色を各々変更することで可能となる。これらを用いることによって、干渉する（縞のパターン 1 5 が重なる）場合であっても、計測カメラ 8 は、的確な光源 1 4 によって対象物に投影された縞のパターン 1 5 を撮像することが可能となる。
- 5 このようなことを行う際に、三次元データ処理装置 3 の制御手段 4 は、上述のレンズ又はフィルタの、特定の周波数の光の透過、特定の位相の抽出等の機能を停止させる又は機能させることを、時間的に制御（一定時間の機能のオン・オフ）しても良い。
- 10 従来の特許文献 1 に示した発明に代表されるように、従来は計測カメラ 8 やその光源 1 4 の位置は固定化されていることが多かった為、光源 1 4 の干渉をある程度予測しうる事が出来たが、本発明の特徴の一つである、計測カメラ 8 や光源 1 4 を空間上の任意の位置に設置できる装置の場合には、光源 1 4 による干渉は、
- 15 毎回その場所によって変化する為、その予測が困難である。従って、干渉を防ぐ上記の時間的分割、空間的分割を用いた計測カメラ 8 とすることは、非常に効果的である。
- 計測カメラ 8 は、空間の任意の位置に複数設けられており、対象物に投影された縞のパターン 1 5 を撮像するカメラである。この計測カメラ 8 は、光源 1 4 により対象物に投影された縞のパターン 1 5 を撮像し、計測データとして三次元データ処理装置 3 に送信する。計測カメラ 8 は、光源 1 4 と一対で設けられても良いし、異なる数設けられていても良い。光源 1 4 がレーザ光源であり、光源 1 4 と一対の数の計測カメラ 8 が設けられる場合の概念
- 20 図を図 6 に示す。又光源 1 4 がレーザ光源であってこれと一対の
- 25

数の計測カメラ 8 が設けられており、光源 1 4 から縞のパターン 1 5 が対象物に投影される場合の側面図を図 8 に示す。計測カメラ 8 は、上述のように光源 1 4 の干渉を防止する場合には、時間的分割及び／又は空間的分割を行う為のレンズ又はフィルタを具備している。

又計測カメラ 8 は、当該空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率をジャイロ等を用いて検出できるように構成しても良い。

更に計測カメラ 8 は、三次元データ処理装置 3 とデータの送受信が可能であって、対象物が移動する場合には、対象物位置測定センサー 1 0 が追尾している対象物の位置データに基づいて、三次元データ処理装置 3 の制御手段 4 (後述)からの制御を受けて、移動する対象物を追尾して、対象物に投影された縞のパターン 1 5 を撮像する。この追尾は、計測カメラ 8 自体が移動しても良いし、位置は移動せずに計測カメラ 8 の傾き、光軸の方向、倍率を変化させることで追尾して撮像を行っても良い。

対象物位置測定センサー 1 0 は、空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、空間に於ける対象物の位置を検出するセンサーである。対象物位置測定センサー 1 0 は、更には、当該対象物の移動を追尾するように構成しても良い。

三次元データ取得装置 2 は、計測カメラ 8 が、その空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率を検出しない場合には、空間の任意の位置に少なくとも一以上の計測カメラ位置測定センサー 9 を設けても良い。計測カメラ位置測定センサー 9 は、空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率

を検出するセンサーである。

尚本明細書の各システム構成図には、計測カメラ 8 自体ではその空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率を検出せずに、空間に計測カメラ位置測定センサー 9 を設け、計測
5 カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率を検出する場合を示すが、前述のように計測カメラ 8 にジャイロ等を設けることによって、計測カメラ 8 自体でその空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率等を検出しても良い。

三次元データ処理装置 3 は、三次元データ取得装置 2 で取得し
10 た計測データに基づいて、対象物の三次元データ（三次元座標やテクスチャデータ、ワイヤーフレーム等）を作成する装置であって、制御手段 4 とデータ処理手段 5 と三次元データ算出手段 6 と記憶手段 7 とを有する。

制御手段 4 は、三次元データ取得装置 2 に対して、空間に於ける対象物の位置、空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸
15 の方向、倍率を検出するようにパラメータ取得指示を出し、対象物位置測定センサー 10、計測カメラ 8 又は計測カメラ位置測定センサー 9 からそのパラメータを取得した後、使用する光源 14 と計測カメラ 8 の組合せや計測時間等の制御を行い、計測カメラ
20 8 により対象物を撮像させ計測データを取得させる手段である。

又制御手段 4 は、三次元データ処理装置 3 の計測カメラ 8 から対象物の計測データを取得後、フィルタリングを行い、三次元データ算出手段 6 へデータを送信し、三次元データの作成を行わせる手段でもある。

25 三次元データ算出手段 6 は、制御手段 4 より受信した計測デー

タに基づいて三次元座標やテクスチャデータ、ワイヤーフレーム等の三次元データを作成し、データ処理手段 5 に送信する手段である。計測データから三次元データを作成する際には、フィルタリングされた計測データに基づいて、点群データの変換を行い、

5 それに対して各データの回転・平行移動を行い、各データの合成処理、平滑化処理を行うことによって、等高線データ（即ち三次元データ）を作成する。これらはいずれも公知技術を用いればよい。

具体的には、計測カメラ 8 で撮像した縞のパターン 1 5 の計測

10 データ（画像）を処理して、縞の位置を抽出し、その点の基準からのずれ量を検出して、座標算出式から三次元データを導出する。例えば図 9 に示した円柱の計測の場合では、撮像した計測データ（画像）を任意間隔で縦方向にスキャンし、白い縞又は黒い縞の中心を抽出して、その縞が本来あるべき位置（基準平面に投影した際の位置、背景に投影されている位置）からのずれ量を検出する。

15 奥行きについては所謂三角測量の原理で算出できる。このずれ量と中心の二次元座標を計算式に代入することによって、三次元データの算出が可能となる。このような方法を用いた場合には、水平方向の座標密度は、計測データ（画像）の解像度（例えば 5

20 1 2 画素）に依存し、垂直方向は投影した縞の本数に依存することとなる。従って垂直方向の解像度を向上させるには、縞のパターン 1 5 の幅を狭くすることで実現できる。この場合の概念図を図 1 0（a）及び（b）に示す。

このように縞のパターン 1 5 の幅を狭くした場合、狭すぎると

25 縞の中心を抽出することが困難になるので（特に複雑な形状を持

つ対象物の場合)、限界が発生する。この限界をクリアする為、
三次元データ算出手段6は投影した縞のパターン15に基づいて
作成した格子を任意量ずつシフトさせた複数枚(4枚であること
が好適である)の計測データ(画像)を元にして座標の算出を行
5 う(これを縞走査法と呼ぶ)。縞走査法を利用することによって、
複数枚の計測データ(画像)を用いて縞の濃淡を正規化し、縞の
位相を検出することによって、図10(c)に示すように、計測
データ(画像)上の全ての点の座標を算出することが可能となる。
更に、縞を正規化する過程で、対象物表面の模様等の影響を排除
10 することも可能となる。又縞を走査させることによって座標算出
の元となる縞の変形量を高感度で得ることが出来る為、微妙な凹
凸を検出することも可能となる。

更には、単一画像から三次元データを高密度に算出することも
可能である。これは、周波数解析の手法を用いることによって、
15 格子を投影した1枚の画像から座標の算出を行うことによって実
現する。これによって動的物体の計測も可能となる。更にこの際
に縞のパターン15を撮像した画像に、制御手段4でフィルタリ
ングを施すことによって、ノイズ成分を除去し、縞の情報のみを
取り出し、模様の影響を排除することが出来、且つ画面全体で座
20 標算出を行うことが可能となる。

データ処理手段5は、制御手段4に対して対象物の計測を開始
する為の計測指示を出す手段である。又三次元データ算出手段6
から受信した三次元データに基づいて、対象物の三次元表示等
を行う手段である。

25 記憶手段7は、三次元データ算出手段6で作成した三次元デー

タを保存する手段である。

次に本発明の三次元計測装置 1 の計測処理のプロセスの流れの一例を図 2 のブロック図及び図 1 のシステム構成図を用いて詳細に説明する。対象物を撮像する前に、計測カメラ 8 は空間の任意
5 の位置に設置し、更に対象物は空間内に位置するものとする。

三次元データ処理装置 3 のデータ処理手段 5 は、制御手段 4 に対して対象物の計測を開始する為の計測指示を出し（S 1 0 0）、それを受信した制御手段 4 は、三次元データ取得装置 2 の対象物位置測定センサー 1 0、計測カメラ 8 又は計測カメラ位置測定セ
10 ンサー 9 に対して、空間に於ける対象物の位置、空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率を検出するようにパラメータ取得指示を出す（S 1 1 0）。

パラメータ取得指示を受信した三次元データ取得装置 2 は、対象物位置測定センサー 1 0 で空間に於ける対象物の位置を検出
15 し、計測カメラ 8 又は計測カメラ位置測定センサー 9 で、空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率等を検出し（S 1 2 0）、それらを制御手段 4 に送信する（S 1 3 0）。

制御手段 4 で、空間に於ける対象物の位置、空間に於ける計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率等のパラメータを受信
20 後（S 1 4 0）、使用する光源 1 4 と計測カメラ 8 の組合せや計測時間等の制御を行い、計測カメラ 8 により対象物を撮像させ計測データを取得させる（S 1 5 0）。

即ち、計測カメラ 8 の位置、傾き、光軸の方向、倍率等のパラメータから、光源 1 4 と計測カメラ 8 の組合せを抽出し、撮像す
25 る順番や計測時間等の制御を行う。光源 1 4 と計測カメラ 8 との

組合せは、計測カメラ 8 に時間的分割及び／又は空間的分割を行うレンズ又はフィルタを具備する場合には任意の組合せであっても良いし、具備しない場合には光源 1 4 が対象物上に投影する縞のパターン 1 5 が、対象物上で重なり合わないような計測カメラ 8 の組合せを行う。

例えば、光源 1 4 の重なり合わない計測カメラの組合せを抽出する場合であって、図 1 に示されるように計測カメラ 8 が三次元データ取得装置 2 の空間上の支柱 (I) から (VI) に各々上下に 1 ずつ設置されており、光源 1 4 が支柱 (II) 及び (V) に各々上下に 1 ずつ設置されている場合、対象物は同一側面を 2 段階で撮像することが可能となる。従って制御手段 4 は、図 4 に示すような順番と組合せで計測カメラ 8 で撮像を行い、計測データの取得を行わせるように制御をすることとなる。図 4 に示した例では、まず光源 A を使用して対象物に縞のパターン 1 5 を投影し、それを支柱 (I) から (III) の上方に設置された計測カメラ 8 (I) ①、(II) ①、(III) ①で撮像する。次に光源 D を使用して対象物の縞のパターン 1 5 を投影し、それを支柱 (IV) から (VI) の下方に設置された計測カメラ 8 (IV) ②、(V) ②、(VI) ②で撮像する。次に光源 B を使用して対象物の縞のパターン 1 5 を投影し、それを支柱 (I) から (III) の下方に設置された計測カメラ 8 (I) ②、(II) ②、(III) ②で撮像する。最後に光源 C を使用して対象物の縞のパターン 1 5 を投影し、それを支柱 (IV) から (VI) の上方に設置された計測カメラ 8 (IV) ①、(V) ①、(VI) ①で撮像する。

このように次々と光源 1 4 が対象物上で重ならない範囲に於いて、光源 1 4 が対象物上に縞のパターン 1 5 を投影し、それを計測カメラ 8 で撮像する。又上述のように一度に一つの光源 1 4 で縞のパターン 1 5 を対象物上に投影するのみならず、光源 A と光源 D、光源 B と光源 C とを同時に使用して、縞のパターン 1 5 が対象物上で重なり合わない条件の下で、計測カメラ 8 での縞のパターン 1 5 の撮像を行っても良い。

一方、計測カメラ 8 に時間的分割及び／又は空間的分割を行うレンズ又はフィルタを具備する場合には、任意の組合せを抽出し、計測カメラ 8 で対象物上に投影された縞のパターン 1 5 の撮像を行っても良い。例えば対象物をはさんで同一線上で向かい合った計測カメラ 8 と光源 1 4 の組合せで撮像を行っても良い。この場合には、互いに相手方の光源 1 4 が投影した縞のパターン 1 5 は、時間的分割及び／又は空間的分割によって、各々の干渉を防ぐことが可能となるからである。

即ち、三次元データ取得装置 2 の計測カメラ 8 は、三次元データ処理装置 3 の制御手段 4 からの S 1 5 0 に於ける制御に基づいて対象物の縞のパターン 1 5 の撮像を行い、計測データを取得し（S 1 6 0）、それを三次元データ処理装置 3 に送信する（S 1 7 0）。

三次元データ取得装置 2 から計測データを受信した制御手段 4 は（S 1 8 0）、その計測データのフィルタリングを行い（S 1 9 0）、フィルタリングを行った計測データをデータ処理手段 5 に送信する（S 2 0 0）。

フィルタリングされた計測データを受信したデータ処理手段 5

は（S 2 1 0）、その計測データに基づいて三次元データ算出手段 6 に於いて三次元座標やテクスチャデータ、ワイヤフレーム等の三次元データを作成する（S 2 2 0）。この三次元データを作成する際には、フィルタリングされた計測データに基づいて、

5 点群データの変換を行い、それに対して各データの回転・平行移動を行い、各データの合成処理、平滑化処理を行うことによって、等高線データ（即ち三次元データ）を作成する。

具体的には、計測カメラ 8 で撮像した縞のパターン 1 5 の計測データ（画像）を処理して、縞の位置を抽出し、その点の基準からのずれ量を検出して、座標算出式から三次元データを導出する。

10 例えば図 9 に示した円柱の計測の場合では、撮像した計測データ（画像）を任意間隔で縦方向にスキャンし、白い縞又は黒い縞の中心を抽出して、その縞が本来あるべき位置（基準平面に投影した際の位置、背景に投影されている位置）からのずれ量を検出する。

15 奥行きについては、所謂三角測量の原理で算出可能である。このずれ量と中心の二次元座標を計算式に代入することによって、三次元データの算出が可能となる。このような方法を用いた場合には、水平方向の座標密度は、画像の解像度（例えば 5 1 2 画素）に依存し、垂直方向は投影した縞の本数に依存することとなる。

20 従って垂直方向の解像度を向上させるには、縞のパターン 1 5 の幅を狭くすることで実現できる。この場合の概念図を図 1 0（a）及び（b）に示す。

このように縞のパターン 1 5 の幅を狭くした場合、狭すぎると縞の中心を抽出することが困難になるので（特に複雑な形状を持つ対象物の場合）、限界が発生する。この限界をクリアする為、

25

三次元データ算出手段 6 は投影した縞のパターン 1 5 に基づいて作成した格子を任意量ずつシフトさせた複数枚（4 枚であることが好適である）の計測データ（画像）を元にして座標の算出を行う（これを縞走査法と呼ぶ）。縞走査法を利用することによって、

5 複数枚の計測データ（画像）を用いて縞の濃淡を正規化し、縞の位相を検出することによって、図 1 0（c）に示すように、計測データ（画像）上の全ての点の座標を算出することが可能となる。更に、縞を正規化する過程で、対象物表面の模様等の影響を排除することも可能となる。又縞を走査させることによって座標算出

10 の元となる縞の変形量を高感度で得ることが出来る為、微妙な凹凸を検出することも可能となる。

更には、単一画像から三次元データを高密度に算出することも可能である。これは、周波数解析の手法を用いることによって、格子を投影した 1 枚の画像から座標の算出を行うことによって実現する。これによって動的物体の計測も可能となる。更にこの際

15 に縞のパターン 1 5 を撮像した画像に、制御手段 4 でフィルタリングを施すことによって、ノイズ成分を除去し、縞の情報のみを取り出し、模様の影響を排除することが出来、且つ画面全体で座標算出を行うことが可能となる。

20 三次元データ算出手段 6 に於いて三次元データを作成後、三次元データ算出手段 6 はデータ処理手段 5 に三次元データを送信し、データ処理手段 5 はそれを受信する（S 2 3 0）。データ処理手段 5 は、受信した三次元データに基づいて、対象物の三次元表示等を行う（S 2 4 0）。又データ処理手段 5 は三次元データ

25 を記憶手段 7 に送信し、保存しても良い（S 2 5 0）。

- 以上のようなプロセス及びシステム構成とすることによって、複雑な形状の対象物であっても、計測カメラ 8 を任意の位置に設定し、三次元データを作成できる。つまり、空間内に於ける計測カメラ 8 の位置等を検出することができるので、それによって撮
- 5 像された計測データの空間内に於ける相対的位置が分かる。これによって、各計測カメラ 8 で撮像した計測データの相対的位置の関係、又は空間内に於ける絶対的位置を算出することが可能となり、対象物の三次元データが作成可能となる。又例えば図 3 に示すように、対象物が壺等の内部の撮像が必要な場合には、その内部
- 10 部に縞のパターン 1 5 を投影できるように光源 1 4 を設け、更にその内部に計測カメラ 8 を設け縞のパターン 1 5 を撮像させることによって、従来は対象物の外観からしか三次元データを作成できなかったが、内観からの三次元データを作成することも可能となる。
- 15 例えば人体の計測を行う場合の概念図を図 1 1 に示す。図 1 1 (a) は、図 1 に示した光源 1 4 と計測カメラ 8 の配置の三次元データ取得装置 2 で人体の撮像を行う場合のイメージ図であり、図 1 1 (b) は、図 1 1 (a) に示した場合に、光源 A から人体に対して縞のパターンを投影し、それを計測カメラ 8 の (I) ①
- 20 から (I I I) ①で撮像する場合のイメージ図である。又その撮像した計測データに基づいて三次元データ処理装置 3 で作成された三次元データを図 1 2 に示す。図 1 2 (a) はポリゴン表示を行う場合であり、図 1 2 (b) 及び (c) は三次元表示を行う場合を示している。
- 25 又対象物が空間内で移動する場合には、対象物位置測定センサ

ー 10 が常にその対象物の位置を追尾して検出し、それを随時三次元データ処理装置 3 に送信し、制御手段 4 がその対象物の移動に併せて、計測カメラ 8 自体の移動又は計測カメラ 8 の傾き、光軸の方向、倍率を変化させ追尾して撮像を行わせても良い。この
5 場合には対象物の移動を所定間隔（例えば 0.1 秒）毎に計測カメラ 8 で撮像し、その各々の計測データから三次元データを作成し、連続的に三次元データを表示することによって、あたかも動画のように三次元データを表示することが可能となる。

更に計測カメラ 8 自体を移動させなくとも、複数の三次元データ取得装置 2 を連続的に配置し、三次元データ処理装置 3 とデータの送受信を可能とする三次元計測装置 1 としても良い。この場合の三次元計測装置 1 を図 5 に示す。この場合のシステム構成図を図 5 に示す。これによって、計測カメラ 8 が設けられた三次元データ取得装置 2 の空間内を対象物が移動することで、対象物の
15 移動を所定間隔（例えば 0.1 秒）毎に計測カメラ 8 で撮像し、その各々の計測データから三次元データを作成し、連続的に三次元データを表示することが可能となり、あたかも動画のように三次元データを表示することとなる。

上述のように対象物が移動する場合には、予め定められた反応
20 （例えば特定の色情報等）を計測カメラ 8 で撮像することによって、自動的に撮像を行ったり、計測精度や三次元画像の合成方法を動的に変更しても良い。即ち、本発明では上記プロセスを経ることによって、従来技術と異なりテクスチャが取得できることから、撮像した計測データ（画像）に含まれる色情報に基づいて、
25 上記の判断を行っても良い。

例えば自動的に撮像を行う場合の制御としては、計測カメラ 8 の撮像範囲内に、予め定められた色情報が含まれた場合にはそこで撮像を行い（この場合、常時又は必要に応じて光源 14 から縞のパターン 15 が投影されていることは当然である）、三次元画像の元となる計測データ（画像）とすることとなる。

このように自動的に撮像した場合には、三次元画像を作成するのに不必要な計測データ（画像）を計測カメラ 8 が撮像してしまう場合があることから、使用する計測カメラ 8 の撮像した計測データ（画像）、使用しない計測カメラ 8 の撮像した計測データ（画像）の切り分けを行っても良い。つまり、対象物が移動している場合に自動的に計測カメラ 8 で撮像を行うと、使用する計測データ（画像）と使用しない計測データ（画像）の切り分けを行わなければならないが、本発明では、テクスチャが取得できることから、撮像した計測データ内に予め定められた色（色情報）を識別した場合には、その計測データ（画像）を使用する計測データ（画像）とする。三次元画像を作成する際には、複数撮像した計測データ（画像）からテクスチャで識別した色情報に基づいて、その計測データ（画像）を使用するか否かの決定を行っても良い。

更に、上述したように、本発明では、テクスチャが取得できることから、色情報による様々な制御を行うことも可能となる。例えば、計測カメラ 8 の撮像範囲内に予め定められた色が入った場合、即ち、計測データ（画像）のテクスチャとして、撮像した計測データ内に予め定められた色（色情報）を識別した場合に、特定の計測カメラ 8 のスイッチのオン・オフや倍率の変更等の制御を行うことも出来る。これによって特定の色を含む対象物に焦点

を合わせたズーム画像等も可能となる。

計測カメラ 8 が撮像した計測データ（画像）から、上述のように自動的に切り分けを行う場合の他、担当者が目視によって判別し、使用する計測データ（画像）と使用しない計測データ（画像）との切り分けを行っても良い。

又、本発明は上述のように、対象物の撮像が非常に短時間で行える特徴がある。従って、例えば対象物が移動する場合に、その対象物が移動する状態の三次元画像を作成することも可能となる。例えば三カ所の計測カメラ 8 で、移動する対象物の撮像を行う場合に、1 / 30 秒未満の間隔で三カ所の計測カメラ 8（計測カメラ a、計測カメラ b、計測カメラ c）で撮像を行い、この撮像した計測データを各々 T a、T b、T c とすると、この T a、T b、T c を同時に撮像された計測データとして、三次元データ算出手段 6 で三次元データの作成を行うことで、ビデオレートでの動画画像の作成が可能となる。つまり、実際に各計測カメラ 8 での撮像した時刻は相違していたとしても、実際に動画画像として処理される場合には、所定間隔（例えばビデオレートであれば、1 / 30 秒間隔）の画像の連続であることから、この間隔内での撮像を行い、それを同時刻に撮像した画像とみなし、一枚の三次元データとすることによって、実質的な動画画像の状態で、対象物が移動する状態の三次元画像を作成することも可能となる。この場合の概念図を図 13 に示す。

本発明に於ける各手段は、その機能が論理的に区別されているのみであって、物理上あるいは事実上は同一の領域を為していても良い。

尚、本発明を実施するにあたり本実施態様の機能を実現するソフトウェアのプログラムを記録した記憶媒体をシステムに供給し、そのシステムのコンピュータが記憶媒体に格納されたプログラムを読み出し実行することによって実現されることは当然である。
5

この場合、記憶媒体から読み出されたプログラム自体が前記した実施態様の機能を実現することとなり、そのプログラムを記憶した記憶媒体は本発明を当然のことながら構成することになる。

プログラムを供給する為の記憶媒体としては、例えば磁気ディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、磁気テープ、不揮発性のメモリカード等を使用することができる。
10

又、コンピュータが読み出したプログラムを実行することにより、上述した実施態様の機能が実現されるだけでなく、そのプログラムの指示に基づき、コンピュータ上で稼働しているオペレーティングシステムなどが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって前記した実施態様の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。
15

更に、記憶媒体から読み出されたプログラムが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わる不揮発性あるいは揮発性の記憶手段に書き込まれた後、そのプログラムの指示に基づき、機能拡張ボードあるいは機能拡張ユニットに備わる演算処理装置などが実際の処理の一部あるいは全部を行い、その処理により前記した実施態様の機能が実現される場合も含まれることは当然である。
20

産業上の利用可能性

本発明によって、複雑な形状を有する対象物であっても、簡便且つ高速にその立体表面形状を高精度で且つ効率的に計測する三次元計測装置を発明した。

- 5 更には、対象物が移動する場合、その移動に併せて計測カメラを移動させることによって、対象物が移動する場合であってもその測定が可能となる。

請 求 の 範 囲

1. 対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置と
その測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処
5 理装置とからなる三次元計測装置であって、
前記三次元データ取得装置は、
空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞
のパターンを投影する光源と、
前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影
10 される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾
き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラとを
有しており、
前記三次元データ処理装置は、
前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍
15 率の一部又は全部のパラメータの取得指示を前記計測カメラに対
して出し、前記計測カメラから前記パラメータを取得し、前記対
象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像す
る前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、
撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計
20 測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取
得する制御手段と、
前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ
算出手段と、
前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデー
25 タ処理手段と、

前記作成した三次元データを保存する記憶手段と
を有することを特徴とする三次元計測装置。

2. 対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置と
- 5 その測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、
前記三次元データ取得装置は、
空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、
- 10 前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、
前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有して
- 15 おり、
前記三次元データ処理装置は、
前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を前記計測カメラ位置測定センサーに対して出し、前記計測カメラ位置測定センサーから
- 20 ら前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、
- 25 前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ

算出手段と、

前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、

前記作成した三次元データを保存する記憶手段と

5 を有することを特徴とする三次元計測装置。

3. 対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置とその測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、

10 前記三次元データ取得装置は、

空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、

15 前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、

前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラとを有しており、

20 前記三次元データ処理装置は、

前記空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラに対して出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ

25 から前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影

する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、

- 5 前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、

前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、

前記作成した三次元データを保存する記憶手段と

- 10 を有することを特徴とする三次元計測装置。

4. 対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置とその測定結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置とからなる三次元計測装置であって、

- 15 前記三次元データ取得装置は、

空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、

前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対し

- 20 て縞のパターンを投影する光源と、

前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、

前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の

- 25 一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有して

おり、

前記三次元データ処理装置は、

- 前記空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ位置測定センサーに対して出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ位置測定センサーから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、
- 前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、
- 15 前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、
- 前記作成した三次元データを保存する記憶手段と
- を有することを特徴とする三次元計測装置。

- 20 5. 前記計測カメラは、

前記対象物位置測定センサーが検出した前記対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって移動し、前記縞のパターンを撮像する

- ことを特徴とする請求の範囲 3 又は請求の範囲 4 に記載の三次元
- 25 計測装置。

6. 前記計測カメラは、
前記対象物位置測定センサーが検出した前記対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって、傾き、光軸の方向、倍
5 率を変化させ前記縞のパターンを撮像する
ことを特徴とする請求の範囲 3 から請求の範囲 5 のいずれかに記載の三次元計測装置。

7. 前記三次元データ算出手段は、
10 前記計測データに基づいて、点群データの変換を行い、前記変換後に回転・平行移動を行い、合成処理、及び平滑化処理を行うことによって三次元データを作成する
ことを特徴とする請求の範囲 1 から請求の範囲 6 のいずれかに記載の三次元計測装置。

15

8. 前記制御手段が、前記光源と前記計測カメラの組合せを抽出する場合には、
前記光源によって投影される縞のパターンが前記対象物上で重なり合わない組合せを抽出する
20 ことを特徴とする請求の範囲 1 から請求の範囲 7 のいずれかに記載の三次元計測装置。

9. 前記制御手段が、前記光源と前記計測カメラの組合せを抽出する場合には、
25 前記計測カメラに、特定の周波数の光は通さないレンズ又はフィ

ルタ、又は特定の色を通さない色フィルタを具備しており、
前記光源と前記計測カメラの組合せを適宜抽出する
ことを特徴とする請求の範囲 1 から請求の範囲 7 のいずれかに記
載の三次元計測装置。

5

1 0 . 前記制御手段は、

前記計測カメラが特定の位相を抽出するレンズ又はフィルタを具
備しており、

前記特定の位相の抽出を行うレンズ又はフィルタの機能のオン・

10 オフを時間的に分割して制御する

ことを特徴とする請求の範囲 1 から請求の範囲 9 のいずれかに記
載の三次元計測装置。

1 1 . 前記制御手段は、

15 前記計測データの色情報に基づいて、前記計測カメラの制御を行
う

ことを特徴とする請求の範囲 1 から請求の範囲 1 0 のいずれかに
記載の三次元計測装置。

20 1 2 . 三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御
に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得
装置であって、

前記三次元データ取得装置は、

空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞

25 のパターンを投影する光源と、

前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラとを有することを特徴とする三次元データ取得装置。

5

1 3. 三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、

前記三次元データ取得装置は、

10 空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、

前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、

前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記

15 空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーとを有することを特徴とする三次元データ取得装置。

1 4. 三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御
20 に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、

空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、

25 前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対し

- て縞のパターンを投影する光源と、
前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラと
- 5 を有することを特徴とする三次元データ取得装置。

- 15 三次元データを作成する三次元データ処理装置からの制御に基づいて対象物の立体表面形状の測定を行う三次元データ取得装置であって、
- 10 空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、
前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源と、
- 15 前記空間の任意の位置に複数設けられており、前記対象物に投影される縞のパターンを撮像する計測カメラと、
前記空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ位置測定センサーと
- 20 を有することを特徴とする三次元データ取得装置。

- 16 前記計測カメラは、
前記対象物位置測定センサーが検出した対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって移動し、前記縞のパターン
- 25 を撮像する

ことを特徴とする請求の範囲 1 4 又は請求の範囲 1 5 に記載の三次元データ取得装置。

1 7 . 前記計測カメラは、

- 5 前記対象物位置測定センサーが検出した対象物の位置に基づいて、前記制御手段からの制御によって、傾き、光軸の方向、倍率を変化させ前記縞のパターンを撮像する
- ことを特徴とする請求の範囲 1 4 から請求の範囲 1 6 のいずれかに記載の三次元データ取得。

10

1 8 . 対象物の立体表面形状の撮像を行う三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置であって、

前記三次元データ処理装置は、

- 15 前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けら
- 20 れている計測カメラに対して、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を出し、前記計測カメラから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽
- 25 出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、

前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、

前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、

- 5 前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、

前記作成した三次元データを保存する記憶手段と
を有することを特徴とする三次元データ処理装置。

- 10 19. 対象物の立体表面形状の撮像を行う三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置であって、

前記三次元データ処理装置は、

- 前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に複数設けられて
15 おり前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられている計測カメラの、前記三次元データ取得装置の前記空間に於ける位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ測定位置
20 センサーに対して、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を出し、前記計測カメラ測定位置センサーから前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づ
25 いて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を

行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、
前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、

- 5 前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、

前記作成した三次元データを保存する記憶手段と
を有することを特徴とする三次元データ処理装置。

- 10 20. 対象物の立体表面形状の撮像を行う三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置であって、

前記三次元データ処理装置は、

- 前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に少なくとも一以
15 上設けられており前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターンを投影する光源によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記空間に於ける自らの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は
20 全部を検出し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられている計測カメラとに対して、前記空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を出し、前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラから前記
25 パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影する光源

と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せを前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、

- 5 前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ算出手段と、

前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデータ処理手段と、

前記作成した三次元データを保存する記憶手段と

- 10 を有することを特徴とする三次元データ処理装置。

2 1. 対象物の立体表面形状の撮像を行う三次元データ取得装置から取得した結果に基づいて三次元データを作成する三次元データ処理装置であって、

- 15 前記三次元データ処理装置は、

前記三次元データ取得装置の空間の任意の位置に少なくとも一以上設けられており前記対象物の位置を検出する対象物位置測定センサーと、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられており前記対象物に対して縞のパターンを投影する

- 20 光源によって投影された前記対象物の縞のパターンを撮像し、前記三次元データ取得装置の前記空間の任意の位置に複数設けられている計測カメラの、前記三次元データ取得装置の前記空間に於ける位置、傾き、光軸の方向、倍率の一部又は全部を検出する計測カメラ測定位置センサーとに対して、前記空間に於ける前記対象物の位置、前記空間に於ける前記計測カメラの位置、傾き、光
- 25

- 軸の方向、倍率の一部又は全部のパラメータの取得指示を出し、
前記対象物位置測定センサーと前記計測カメラ測定位置センサー
から前記パラメータを取得し、前記対象物に縞のパターンを投影
する光源と前記縞のパターンを撮像する前記計測カメラの組合せ
- 5 を前記パラメータに基づいて抽出し、撮像する前記計測カメラの
順番と計測時間の制御を行い、前記計測カメラに前記対象物の縞
のパターンを撮像させ計測データを取得する制御手段と、
前記計測データに基づいて三次元データを作成する三次元データ
算出手段と、
- 10 前記三次元データに基づいて前記対象物の三次元表示を行うデー
タ処理手段と、
前記作成した三次元データを保存する記憶手段と
を有することを特徴とする三次元データ処理装置。
- 15 2 2 . 前記三次元データ算出手段は、
前記計測データに基づいて、点群データの変換を行い、前記変換
後に回転・平行移動を行い、合成処理、及び平滑化処理を行うこ
とによって三次元データを作成する
ことを特徴とする請求の範囲 1 8 から請求の範囲 2 1 のいずれか
- 20 に記載の三次元データ処理装置。
- 2 3 . 前記制御手段が、前記光源と前記計測カメラの組合せを抽
出する場合には、
前記光源によって投影される縞のパターンが前記対象物上で重な
り合わない組合せを抽出する
- 25

ことを特徴とする請求の範囲 1 8 から請求の範囲 2 2 のいずれかに記載の三次元データ処理装置。

2 4 . 前記制御手段が、前記光源と前記計測カメラの組合せを抽出する場合には、

前記計測カメラに、特定の周波数の光は通さないレンズ又はフィルタ、又は特定の色を通さない色フィルタを具備しており、
前記光源と前記計測カメラの組合せを適宜抽出する

ことを特徴とする請求の範囲 1 8 から請求の範囲 2 2 のいずれかに記載の三次元データ処理装置。

2 5 . 前記制御手段は、

前記計測カメラが特定の位相を抽出するレンズ又はフィルタを具備しており、

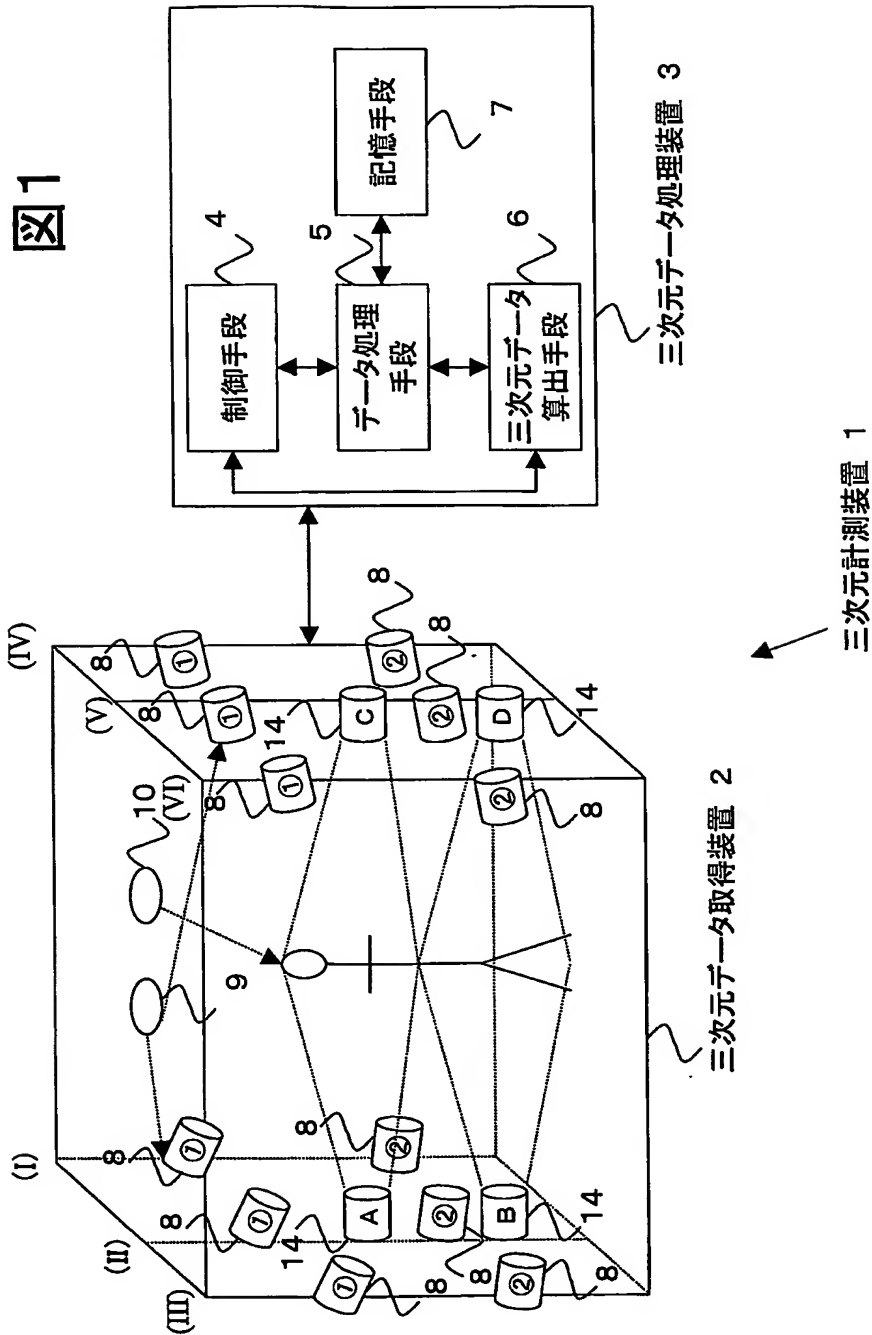
前記特定の位相の抽出を行うレンズ又はフィルタの機能のオン・オフを時間的に分割して制御する

ことを特徴とする請求の範囲 1 8 から請求の範囲 2 4 のいずれかに記載の三次元データ処理装置。

2 6 . 前記制御手段は、

前記計測データの色情報に基づいて、前記計測カメラの制御を行う

ことを特徴とする請求の範囲 1 8 から請求の範囲 2 5 のいずれかに記載の三次元データ処理装置。



2/13

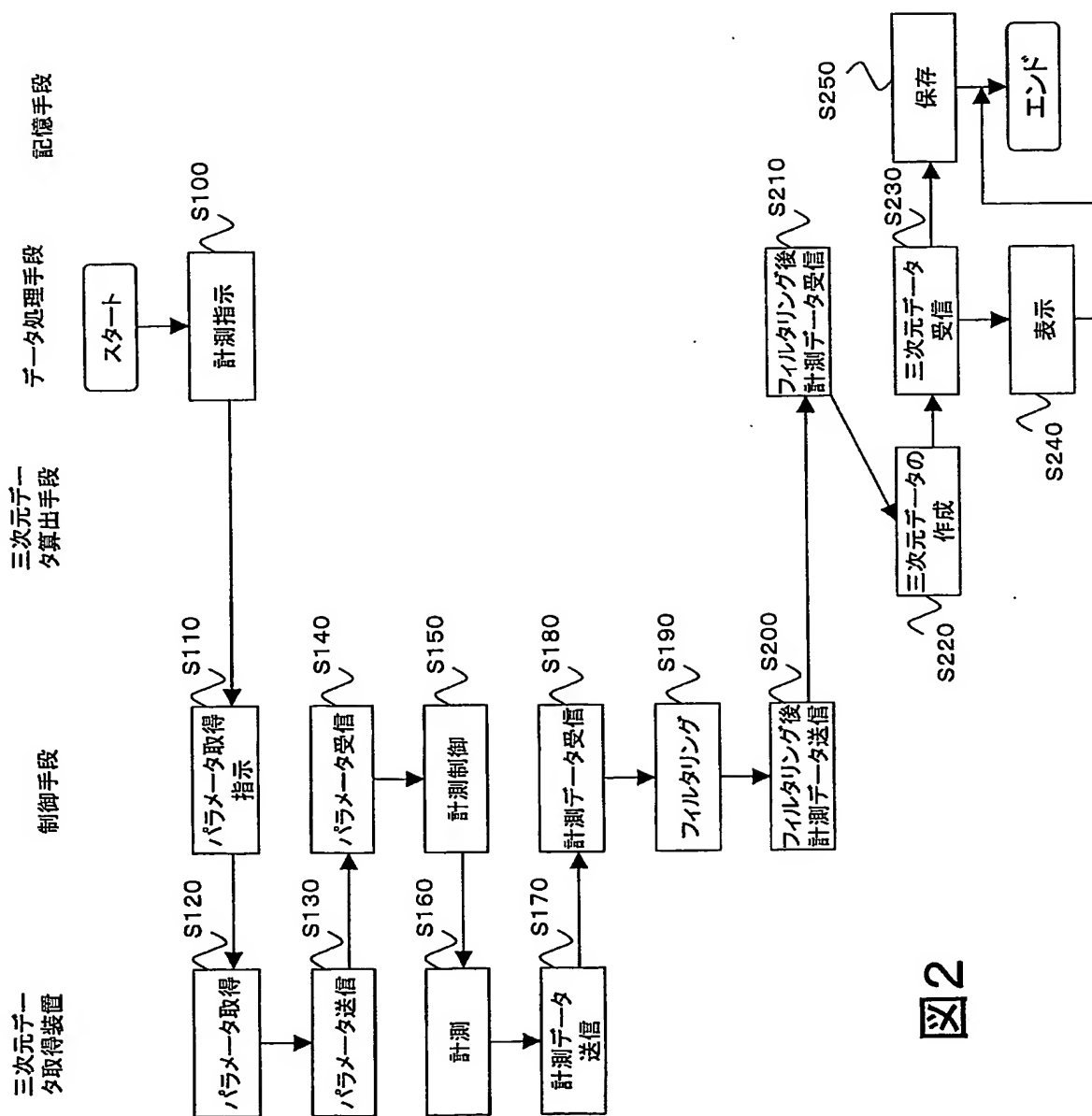
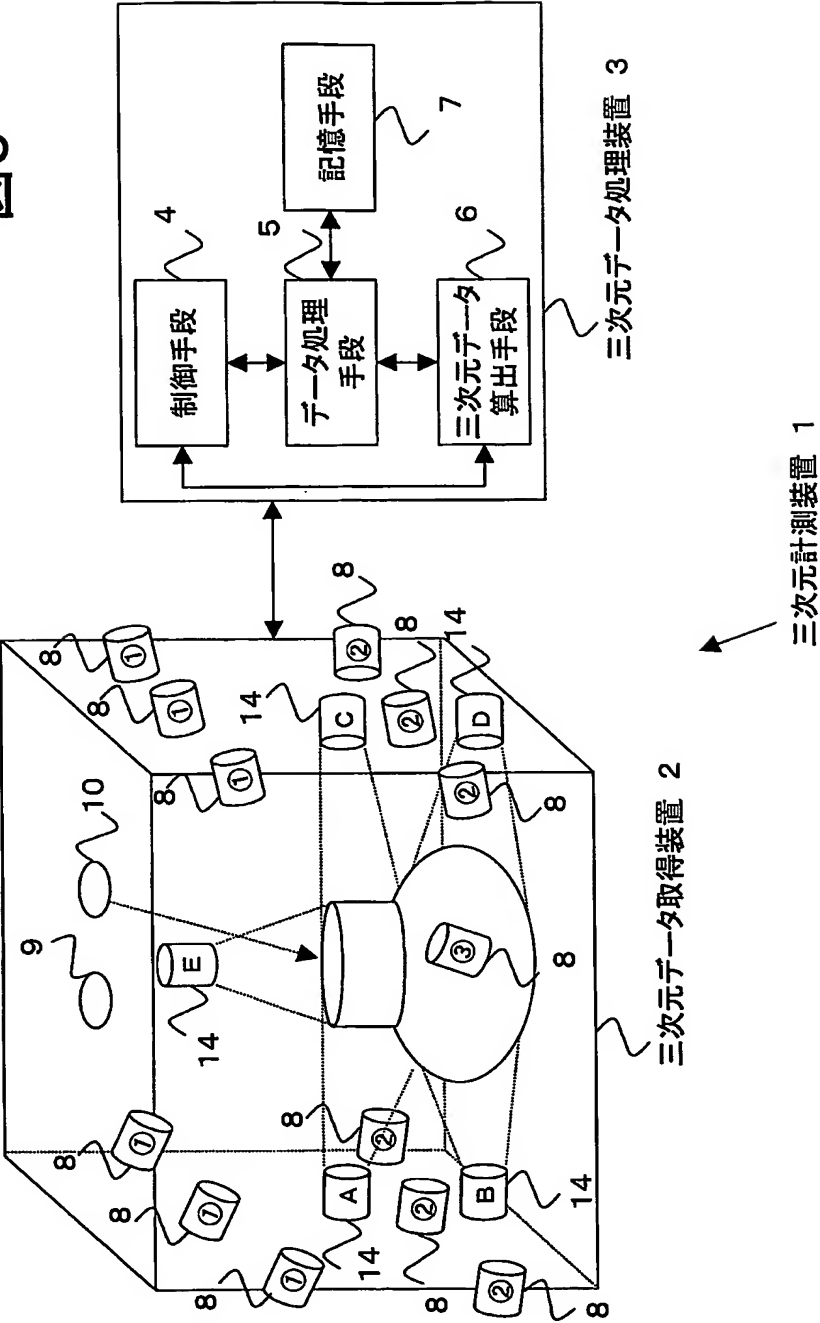


図2

図3



光源	計測カメラ	計測時間(約1.0秒)		
A	(I)①	O	↔ 0.3秒	
	(II)①			
	(III)①			
B	(I)②			
	(II)②			O
	(III)②			
C	(IV)①			
	(V)①			O
	(VI)①			
D	(IV)②			
	(V)②		O	
	(VI)②			

図4

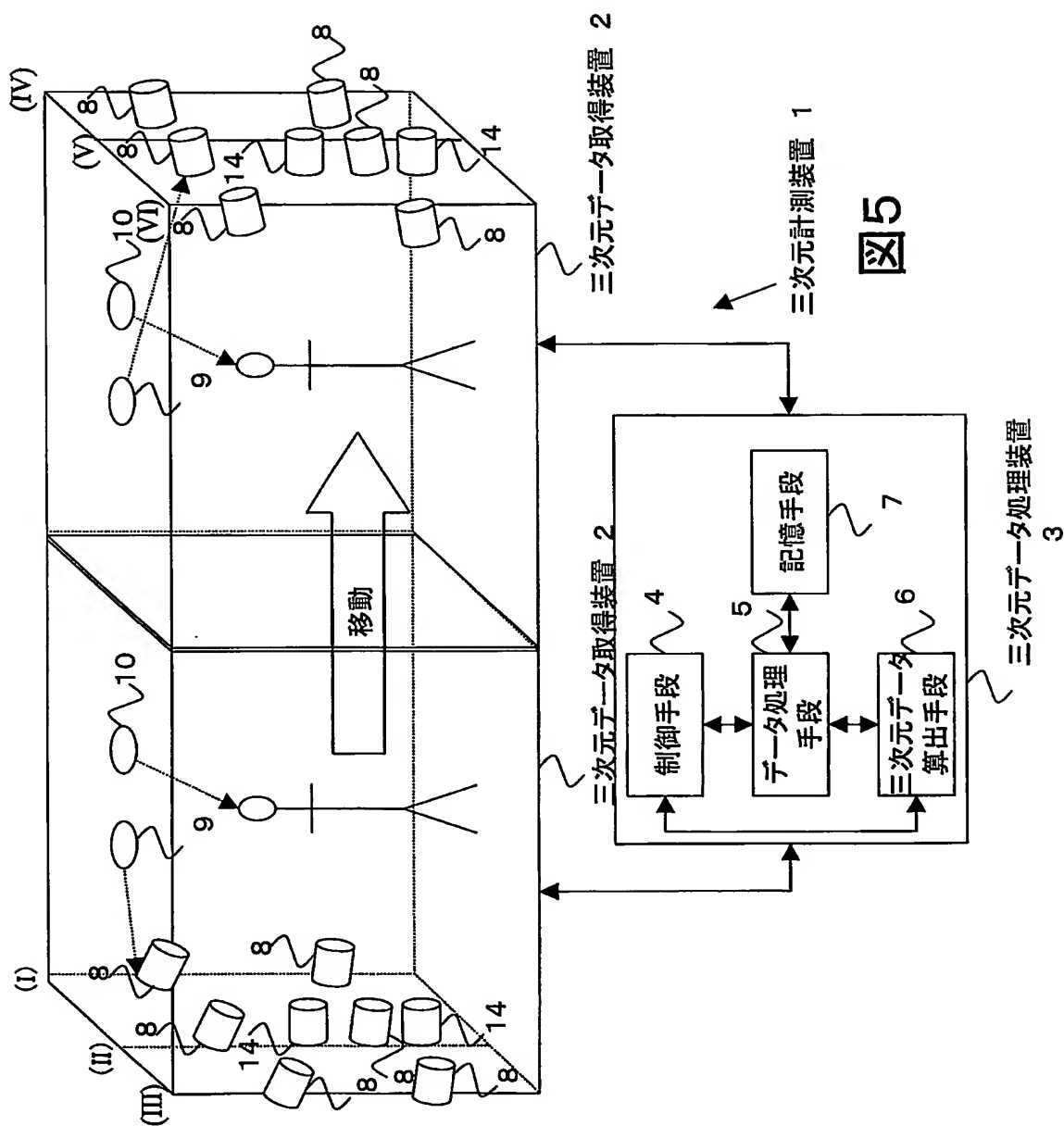
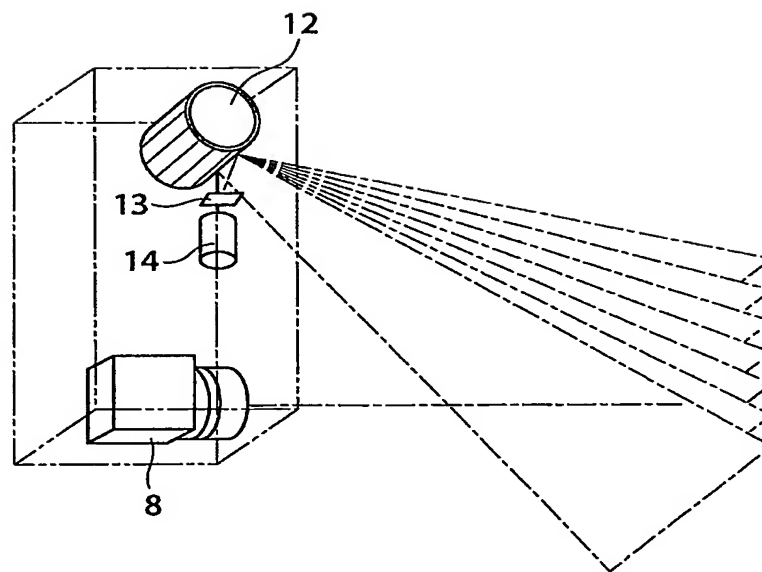


図5

6/13

図6



7/13

図7

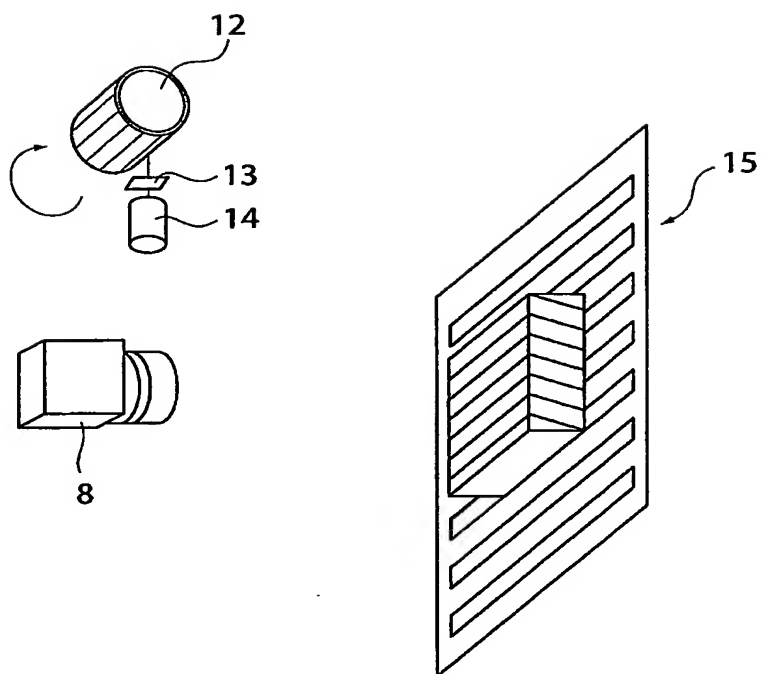
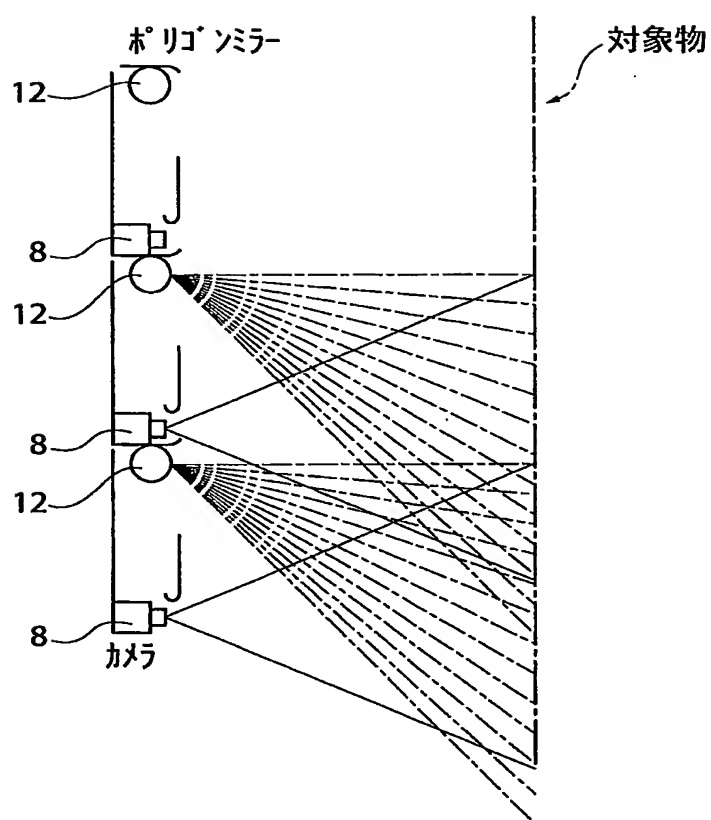


図8



9/13

図9

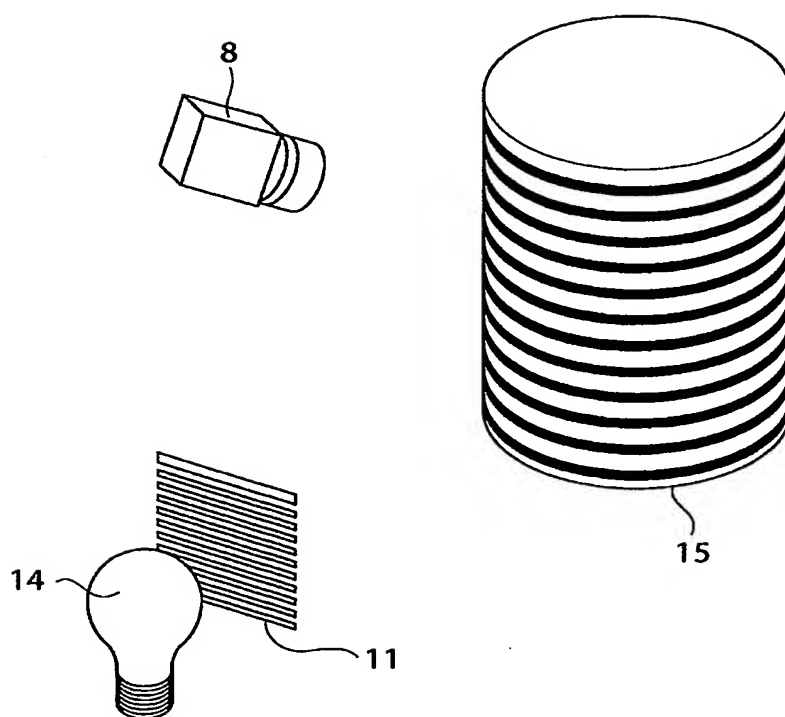
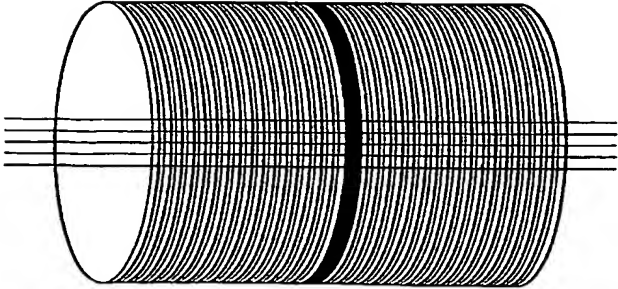
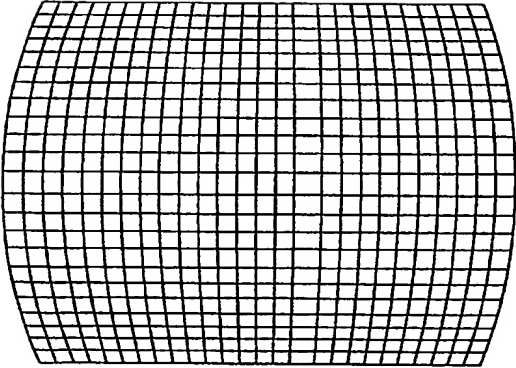


図10

(a)



(b)



(c)

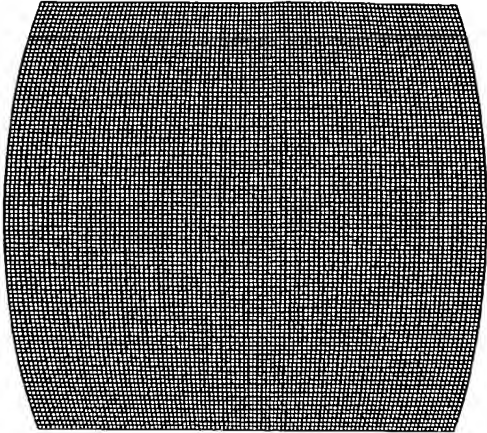
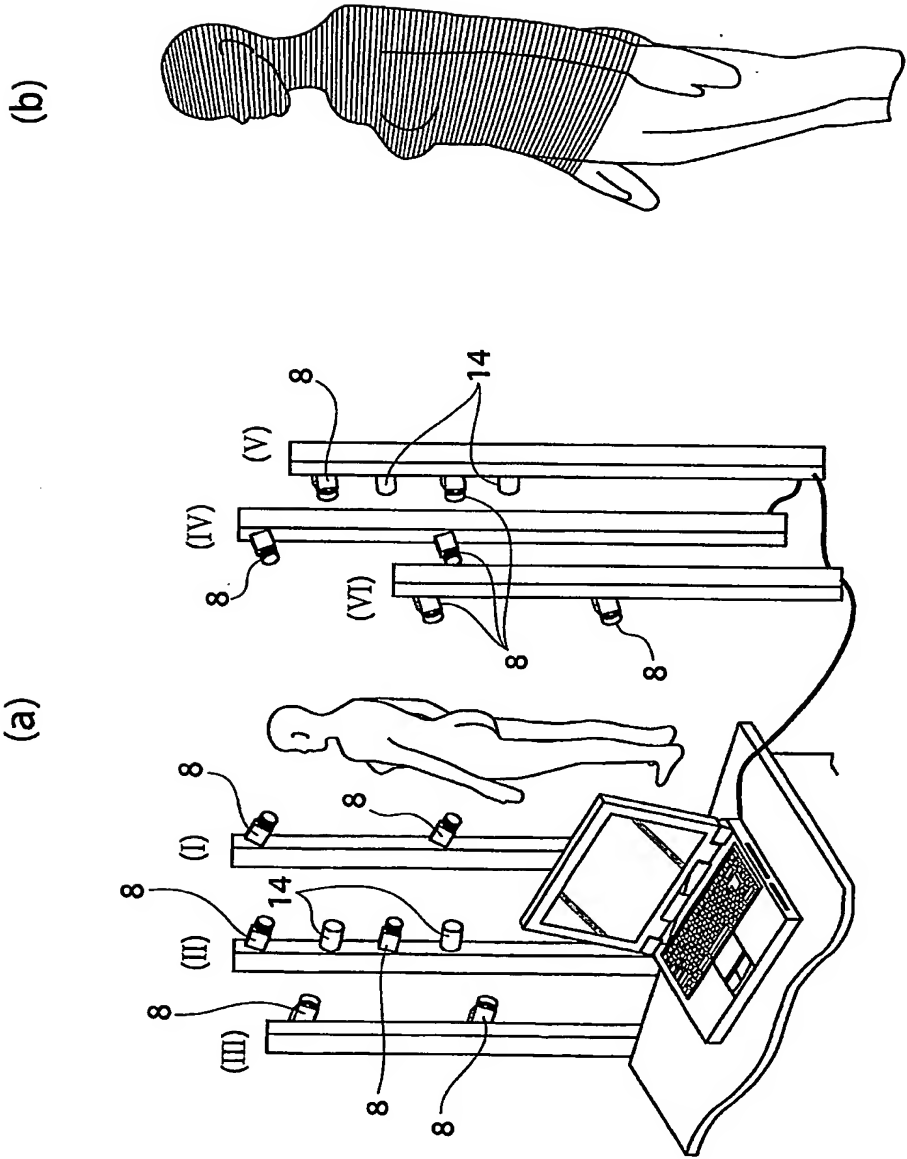


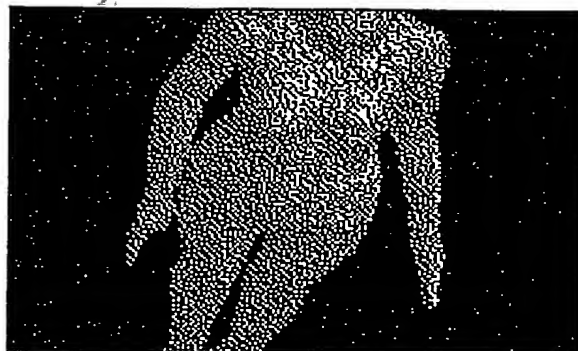
図11



12/13

図 12

(a)



(b)



(c)

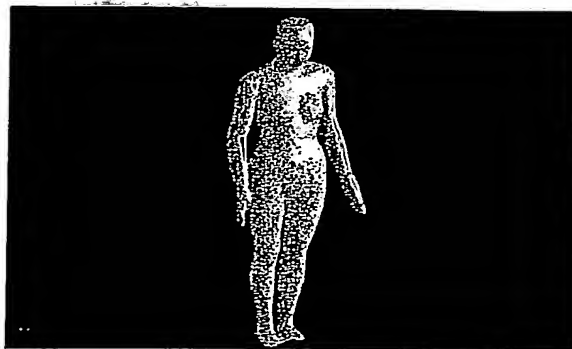


図13

